

## 중금속 오염 퇴적저니의 복원방안

### Remediation of Heavy Metal Contaminated Sediments

배우근, 이창수, 홍종철\*, 장석규\*\*, 김성진\*\*\*

한양대학교 토목환경공학과, 한양대학교 환경공학연구소\*, (주)경호기술단\*\*, (주)영창건설\*\*\*

#### ABSTRACT

This paper investigated remediation options for contaminated sediments with heavy metals. Twenty three sediment samples were taken from three different depths of 0.5m, 1.5m and 2.5m. The concentration of Heavy metals Cu, Pb, and Hg were measured. The concentration of copper far exceeded the Sediment Quality Guideline in U.S.A and Interim Sediment Quality Guidelines in Canada. Therefore, remediation of the sediments is required to protect the benthos. Two remediation options were suggested : dredging of the organic sediments as deep as about 85cm followed by surface covers with clean soil, and in-situ stabilization of the sediments using lime or cement followed by surface cover with clean soil.

---

**Key Word** : Remediation, Sediment, Heavy Metal

#### I. 서론

경기도 G시 S동과 P동 일원에 위치한 J 하천형 호수는 사행천이었던 왕숙천이 한강으로 유하하다 하류에 이르러 퇴적작용과 홍수 등으로 인한 유로변경 과정에서 생성된 하천형 호수이다. 최근까지 물이 맑고 수심이 깊으며 경관이 수려하여 주민들의 놀이·휴식공간으로 역할을 해왔으나 수도권 팽창 및 이로 인한 유역 인구 증가에 따른 생활하수의 유입과 주변 공장으로부터의 산업폐수유입으로 인해 심하게 오염되어 현재는 호수자체의 자연정화능력을 상실하여 오염물질이 축적되고 부패되어 악취를 발생시키는 등 매우 심각한 오염상태를 나타내고 있다. 최근 J호 인근이 대단위 아파트 개발지역으로 결정됨에 따라 호수의 정화가 불가피 해지고 있으며 특히, 퇴적저니의 중금속오염도는 매우 심각하여 적극적인 복원기술을 적용하지 않으면 안될 실정이다. 본 연구에서는 J호의 생태적 기능을 회복하는데 필요한 최적의 퇴적저니 처리 및 호수 저부 토양환경복원방안에 대하여 고찰하여 보았다.

## II. 오염현황

### 1. 저니채취

본 연구의 대상인 G시의 J 하천형 호수 퇴적저니의 중금속오염도 조사를 위해 저니를 채취한 지점의 위치는 Fig. 1과 같다. 또한 심도별 오염도를 파악하기 위하여 0.5m(S-1), 1.5m(S-2), 2.5m(S-3)의 저니를 각각 채취하여 분석하였다.

### 2. 퇴적저니 오염도분석

채취된 9개 지점 23개 시료에 대하여 가장 문제시 되는 중금속 Cu, Pb, Hg에 대하여 폐기물 공정시험방법 및 토양오염 공정시험방법에 의해 분석한 결과, 4개 시료(BH-1, S-2 ; BH-3, S-1 ; BH-3, S-2 ; BH-4, S-1)가 Cu의 지정폐기물 기준(3mg/L)을 초과하였으며, 전 지점의 시료가 농경지에 대한 Cu의 토양오염우려기준(50 mg/kg)을 초과하였으며, 그 외 Pb 및 Hg은 모두 기준이하로 분석되었다. 4개 지점(BH-1, BH-4, BH-7, BH-9)의 S-1 시료에 대한 함유량 시험을 실시한 결과는 다음 Table 1과 같았다. 함유량 시험에서도 Cu의 농도가 특히 높아 저니의 Cu에 의한 오염도가 상대적으로 높음을 알 수 있었다. 함유량 시험에서는 Cd과 Total Cr에 대해서도 분석하였으나 모두 7mg/kg 이하의 낮은 값을 나타내었다(데이터 생략). 그 외, 강열감량과 화학적 산소 요구량 (COD<sub>Mn</sub>) Fig. 1 퇴적저니 채취지점 시험도 실시하였으며 그 결과는 Table 2에 나타내었다.

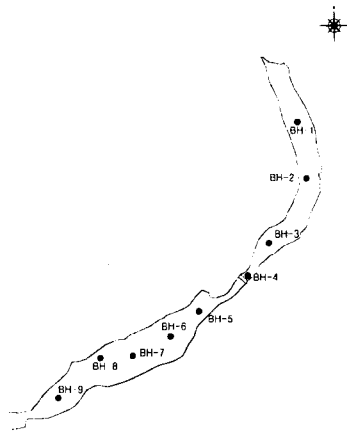


Fig. 1 퇴적저니 채취지점

## III. 퇴적저니 처리 필요성 검토

본 연구에서 분석한 퇴적저니의 오염도를 국내의 처리기준에 적용하여 퇴적저니의 처리 필요성 여부를 검토하여 보았다.

Table 1 퇴적저니의 유해물질 함유량시험 결과  
(토양오염공정시험방법) (unit : mg/kg)

항목 지점명	Pb	Cu	Hg
BH-1 S-1	59.1	372	1.06
BH-4 S-1	44.8	756	1.84
BH-7 S-1	9.66	107	0.19
BH-9 S-1	12.3	161	0.44

### 1. 생활환경기준항목에 의한 검토

국내 팔당호 및 한강하류 퇴적물 준설기준<sup>1)</sup>에 따른 퇴적저니의 준설여부를 검토한 결과, 강열감량은 약 1.9~5.5%로서 팔당호 준설기준(7%)의 약 60%정도이었다 추정되었다. 화학적 산소요구량은 팔당호 및 한강하류의 준설기준인 20,000 mg/kg 이하인 1,415~5,655 mg/g으로 분석되어,

하나의 항목도 이들 기준을 초과하지 않았다. 또한 일본 동경만 및 요코하마만의 준설기준에 따른 퇴적저니의 준설여부를 검토한 결과, 강열감량은 동경만 및 요코하마만 준설기준<sup>2)</sup>

Table 2 퇴적저니의 강열감량 및 COD

지점명 항목	BH-1 S-1	BH-4 S-1	BH-7 S-1	BH-9 S-1
강열감량	5.5	5.5	5.1	1.9
COD(mg/kg)	5665	4953	2960	1416

에 의한 평가점이 0점(5 % 미만)이었으며, 화학적 산소요구량은 1,415~5,655 mg/kg으로서 평가점이 0점(13,000 mg/kg 미만)으로 판정되었다. 이 때, 동경만 및 요코하마만은 총 평가점이 6점이상인 경우에 대하여 퇴적저니의 준설

을 실시하였다. 이상의 결과를 종합하면 준설이 불필요하다.

2. 수생 생태계 보전에 따른 검토

퇴적저니의 준설여부 결정시 유기물이나 영양염류 등의 유기퇴적물 제거기준이외에 중금속 및 폴리클로리네이티드비페닐(polychlorinatedbiphenyls, PCBs)등의 유해물질이 수생식물 및 국민건강에 크게 악영향을 미치므로 이들 물질에 대한 검토도 필요하다. 중금속 및 PCBs 등에 대한 퇴적저니 기준은 국내에는 아직 설정되어 있지 않은 실정이며, 더욱이 이에 대한 처리사례도 없어 미국, 캐나다 및 일본 기준에 준거하여 검토하였다. 일본의 기준은 미국 및 캐나다 기준과 같이 퇴적물에 서식하는 저서생물에 직접적으로 악영향을 미치는 것을 고려하여 기준을 설정한 것이 아니라, 오염물질들이 수층으로 용출되었을 경우 예상되는 악영향을 근거로 설정되었기 때문에 오염물질에 대한 기준농도가 미국의 경우보다 높게 설정되었다. 따라서, 퇴적저니 처리는 수생 생태계보전을 고려하여 미국 및 캐나다의 기준을 적용하여 퇴적저니 처리를 검토하였다.

1) 미국 해양 대기청에서 사용되는 퇴적물 환경권고치에 의한 검토

미국 해양 대기청의 퇴적물 환경권고치(Sediment Quality Guideline)<sup>3)</sup>를 적용하여 퇴적저니의 오염물질 중 Cu, Hg, Pb에 대하여 Table 3과 같이 평가하였다. 그 결과, Cu 및 Hg는 악영향을 끼칠 수 있는 범위의 중간농도(ERM)를 약 3배정도 초과하였으며, Pb은 악영향을 끼칠 수 있는 범위의 최소농도 ERL을 약간 초과하는 것으로 검토되어 적극적인 복원기술을 적용하여야 된다고 판단되었다.

Table 3 미국 해양 대기청에서 사용되는 퇴적물 환경권고치에 의한 검토

항목	ERL <sup>1)</sup> (mg/kg dry wt)	ERM <sup>2)</sup> (mg/kg dry wt)	J 하천형 호수	비고
Cu	34	270	107~756	ERM 초과
Pb	47	220	9.7~59.1	ERL 초과
Hg	0.15	0.71	0.44~1.84	ERM 초과

ERL : Effects Range Low, ERM : Effects Range Median

2) 캐나다 환경부의 담수퇴적물에 대한 잠정환경 기준에 따른 검토

저서생물에 미치는 악영향을 확률적으로 제시하는 캐나다 환경부의 잠정 퇴적물 환경권고치(Interim Sediment Quality Guidelines, ISQGs)와 악영향 기대수준(Probable Effect Level, PEL)<sup>4)</sup>을 적용하여 Cu, Hg 및 Pb에 대하여 검토한 결과는 Table 4와 같다. 이 기준에 따른 검토 결과, 구리와 수은은 PEL을 약 3배 이상 초과하였으며, 납은 잠정 퇴적물 환

경권고치(ISQGs)는 초과하고 악영향 기대수준(PEL)에는 미치지 못하는 수준이었다. ISQGs 미만의 농도는 저서생물에 대한 악영향이 거의 없는 오염되지 않은 퇴적물의 상태이며, PEL 이상의 농도는 수생생물에 대한 악영향이 빈번하게 나타날 수 있는 수준으로 퇴적물 오염이 상당히 진행된 상태를 나타낸다. 또한 ISQGs와 PEL 사이의 농도는 악영향이 가끔 발생하는 정도로 오염된 상태를 나타낸다. 캐나다 환경기준에 따라 판단할 때, 적극적인 저니처리방법이 필요하다고 판단된다.

#### IV. 퇴적저니 처리방안

이상과 같이 J 하천형 호수의 오염도를 각각의 처리기준에 의해 검토한 결과 적극적인 정화기술을 적용하여야 한다는 결론을 얻게되었다. 이에 오염물질의 유해성, 퇴적물로 인한 생태계에의 영향, 영향을 받는 지역의 면적, 복구방안의 실효성, 해당지역의 수리특성, 비용 및 자연 정화에 소요되는 시간 등을 고려하여 퇴적저니 일부제거 후 표면피복 및 현위치 안정화 후 표면피복 등의 방안을 도출하였다. 이들 방안의 개요는 다음과 같다.

Table 4 캐나다 환경부의 담수퇴적물에 대한 잠정 환경기준 및 악영향이 발생 할 수 있는 확률(%)에 의한 검토

항목	ISQG	PEL	장자천	%≤ISQG	ISQG <%≤ PEL	%> PEL
Cu(mg/kg)	35.7	197	756	4	38	44
Pb(mg/kg)	35.0	91.3	59.1	5	23	42
Hg(mg/kg)	0.17	0.486	1.84	8	34	36

##### 1) 퇴적저니 일부제거 후 표면피복

수질오염의 요인이 되는 유기물 퇴적층을 일부(약 85cm)를 습지불도우저 등을 이용하여 제거한 후 양질의 토양으로 표면을 피복하는 기술이다. 퇴적저니 제거는 오염된 퇴적저니 중 일부에 대해서만 실시하므로 제거 후 남은 퇴적층으로부터 용출되는 오염의 이동속도를 늦추고 저서생물에 미치는 악영향을 저감시키기 위하여 양질의 토양으로 약 50cm 정도 피복한다. 이 방법은 유기물을 다량 제거하고 유해물질의 총량도 저감할 수 있는 장점이 있으나 준설토에 대한 별도의 처리 방안이 강구되어야 하며, 오염원인물질을 전부 제거하거나 분해하는 기술이 아니기 때문에 향후 일정기간 동안 지속적인 모니터링이 필요하다.

##### 2) 현위치 안정화 후 표면피복

퇴적저니에 석회계(생석회, 소석회 등), 시멘트계 등의 안정화제를 첨가하여 균질하게 혼합하고 일정기간 양생시켜 퇴적저니 중의 중금속을 수산화물 형태로 안정화시켜 중금속 용출을 최대한 억제시킨다. 이 때, 안정화제를 첨가한 저니의 pH는 8~10 정도로 높아져서 저서생물에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 안정화시킨 저니층의 표면에 오염되지 않은 토양을 피복하는 것이 주요 내용이다. 이 방법은 퇴적저니 처리를 현위치(in-situ)에서 실시하므로 준설토의 처리가 불필요하고 중금속 용출농도를 최대한 억제시키고 저서생물에 미치는 악영향을 최소화시킬 수 있는 것이 장점이지만 저니 중 중금속의 안

정화여부의 확인을 위해 상당기간 동안 모니터링이 필요하고 하상고가 높아져 통수단면적이 줄어드는 단점이 있다.

## V. 참고문헌

1. 이창희, 김은정, “호소 및 하천오염 퇴적물 관리방안”, 한국환경정책평가연구원, 1988.
2. 현대산업개발 주식회사, 퇴적오니의 처리, p. 38~40, 1998.
3. NOAA, NOAA's National Status & Trend program: Sediment Quality Guidelines, 1998.
4. Environment Canada, Canadian Water Quality Guidelines, 1998.